

Modélisation d'une Torche à Plasma Thermique de Forte Puissance à Électrode creuse pour son utilisation en Haut-fourneau.

F. Sambou, P. Freton, J.J. Gonzalez

Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS,
118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse cedex 9, France
Email : francis.sambou@laplace-univ.tlse.fr

Introduction

Dans un objectif d'adapter leur production aux enjeux du changement climatique et de réduire les coûts des procédés d'élaboration de l'acier, les sidérurgistes ont envisagé de nouvelles stratégies technologiques afin de faire évoluer les Hauts-fourneaux (HF). En effet, l'industrie sidérurgique compte pour 4 à 6% des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial et de 25 à 30% des émissions industrielles (principalement du CO₂). Ces émissions confrontent l'industrie sidérurgique aux enjeux du changement climatique et de l'empreinte carbone. Ainsi, les acteurs du secteur sont dans l'obligation d'adapter leur production pour la rendre plus respectueuse de l'homme et de son environnement.

Dans le but de se conformer à ces défis, les sidérurgistes ont mis en place de nouveaux programmes, c'est le cas des programmes européen ULCOS (pour, Ultra Low CO₂ Steelmaking) et français LIS/TGR-BF (pour, Top Gas Recycling - Blast Furnace) [1]. Ces programmes visent à réduire significativement les émissions de CO₂ et les coûts de production d'acier des usines sidérurgiques. Une piste prometteuse pour lever ces défis semble être l'injection de gaz réducteurs chauds au HF. Ainsi en continuité de ces programmes, ArcelorMittal et le gouvernement Français avec l'ADEME proposent l'étude de cette solution dans le cadre d'un projet intitulé « IGAR » (Injection de Gaz Réducteur). Ce papier a pour but de présenter les aspects technologiques et les différents enjeux du projet.

I. Objectifs du projet « IGAR » et de nos travaux

1.) Le projet IGAR

Ce projet regroupe plusieurs partenaires industriels et académiques : AcelorMittal (AMMR), Europlasma, Basis Electronique de Puissance (Basis-EP), l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (INPT-IMFT), l'Institut de mécanique et d'ingénierie de Bordeaux (I2M), le laboratoire Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie (CORIA), le laboratoire thermique énergétique des procédés (Latep), et le Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie (INPT-Laplace). Il vise à réaliser la validation préindustrielle de l'injection en HF de gaz réducteurs chauds par l'utilisation de la technologie des torches à plasma thermique, pour chauffer et réformer des gaz sidérurgiques. Plus spécifiquement, il s'agit de tester d'une part le fonctionnement d'un système de torche à plasma thermique pour chauffer et réformer des gaz sidérurgiques en générant des gaz réducteurs, et d'autre part de tester une tuyère de HF spécifiquement conçue pour injecter ce gaz réducteur ainsi produit. La réussite du projet permettra le déploiement de la technologie torche à plasma thermique dans des installations industrielles réelles de HF. La figure 1 donne une représentation schématique du projet IGAR et de la contribution de chacun des partenaires.

2.) Objectifs de nos travaux

Dans le cadre d'IGAR, nous contribuons à la partie relative à l'étude de la torche à plasma thermique. L'objectif de nos travaux est d'étudier et d'optimiser le fonctionnement hydrodynamique interne des torches à plasma thermique existantes par modélisation numérique, pour permettre le passage à des torches de puissance beaucoup plus élevée, plus adaptées aux installations telles que les HF. L'objectif plus particulier est le développement d'un modèle tridimensionnel de la torche pour mieux comprendre les phénomènes physiques mis en jeu et ainsi permettre le dimensionnement vers des torches à puissances plus élevées. Les technologies de torches à plasma thermique que nous allons étudier dans le cadre de ces travaux sont, les technologies de torches plasma thermique à courant continu (torches DC) à cathode creuse de la société Europlasma. Les résultats de nos travaux seront comparés aux résultats expérimentaux obtenus par I2M, réalisés sur le jet de plasma produit par la torche.

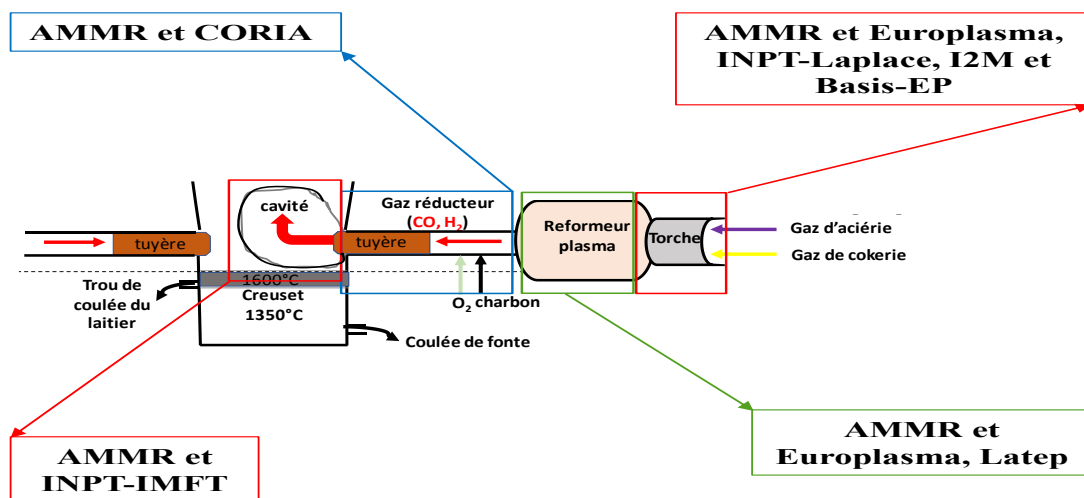


Figure 1 : le projet IGAR, situation au niveau du HF

II. Les aspects technologiques et scientifiques du projet

1.) Les Hauts-fourneaux

Les HF sont les installations de base de l'industrie sidérurgique qui constituent la première étape de production d'acier au niveau mondial à partir d'un minerai. Ils représentent 70% de la production mondiale d'acier [2]. Ce sont des réacteurs chimiques à contrecourant de gaz, de liquides, et de solides couplés par des échanges de chaleur et des réactions chimiques [3][4]. La production d'acier par les HF est basée sur l'utilisation de minerais de fer. Pour produire de l'acier, les minerais de fer sont enfournés dans le HF avec du coke (composé carboné issue du charbon bitumineux par traitement en milieu anaérobie) produisant de la fonte et une gangue de matières premières appelées scories. Cette fonte est un produit primitif de l'acier qui nécessite un traitement dans les aciéries pour diminuer sa teneur en carbone et produire ainsi de l'acier (fer + x% < 2% de teneur en carbone).

2.) Description du procédé prévu dans le projet IGAR

La figure 2 montre un schéma de principe du traitement proposé dans le cadre du projet IGAR. De la gauche vers la droite sur ce schéma nous avons :

- Une injection dans la torche des gaz sidérurgiques comme gaz plasmagènes recyclés (gaz d'aciérie, de cokerie et de HF) généralement brûlés à d'autres fins;
- Sortie des gaz sous forme de jet de plasma thermique dans le dispositif de reformage ;
- Reformage des gaz, production de gaz réducteur (CO et H₂) ;
- Injection à travers les tuyères des gaz réducteurs ainsi produits dans le HF;
- Réduction des minerais de fer en substitution du coke onéreux.

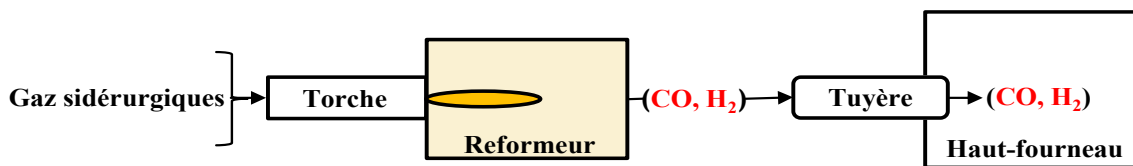


Figure 2 : schéma de principe du procédé

3.) Les torches plasma thermique à cathode creuse

Dans le cadre de nos travaux, nous allons étudier et optimiser l'hydrodynamique interne des torches plasma thermique à cathode creuse (torches Europlasma) existantes fonctionnant avec de l'air comme gaz plasmagène. Les résultats de cette étude permettront de mieux appréhender les caractéristiques de ces torches afin d'extrapoler les configurations vers des torches de puissance plus élevée qui seront utilisées dans les HF.

Les torches à plasma thermique à cathode creuse sont des dispositifs permettant de générer des jets de plasma thermique avec une forte enthalpie à des températures très élevées, entre 2000 et 20000K [5]. Le fonctionnement de base des torches à plasma thermique à cathode creuse nécessite obligatoirement la présence d'un arc électrique initialement établi entre les électrodes (anode et cathode).

Structurellement, les torches plasma thermique à cathode creuse étudiées dans le cadre de ces travaux, sont constituées d'une anode et d'une cathode creuses cylindriques coaxiales avec un gap entre elles. Le gaz plasmagène est injecté en vortex à travers ce gap et une bobine de champ autour de la cathode permet d'appliquer un champ magnétique externe. Ce champ magnétique externe assure le pilotage de l'arc électrique. L'intérêt de cette configuration est d'assurer le fonctionnement optimal de ces torches en minimisant les phénomènes d'érosion des électrodes et les instabilités [5] [6] [7] [8] [9]. La figure 3 donne une représentation schématique du principe d'une torche plasma thermique à cathode creuse.

Dans le cadre de ces travaux de modélisation, nous allons utiliser comme méthode de résolution numérique, la méthode de discrétisation par les volumes finis. L'outil numérique utilisé est le logiciel Ansys fluent très performant pour la résolution des équations impliquant des fluides pour lequel l'équipe AEPPT a développé des routines spécifiques aux plasmas thermiques. Les équations résolues sont les équations fluides couplées aux équations électromagnétiques.

Lors de mon intervention, je présenterai en détail le principe de fonctionnement d'un Haut-fourneau, la démarche qui va être menée dans le cadre de ces travaux de modélisation ainsi que les premiers résultats.

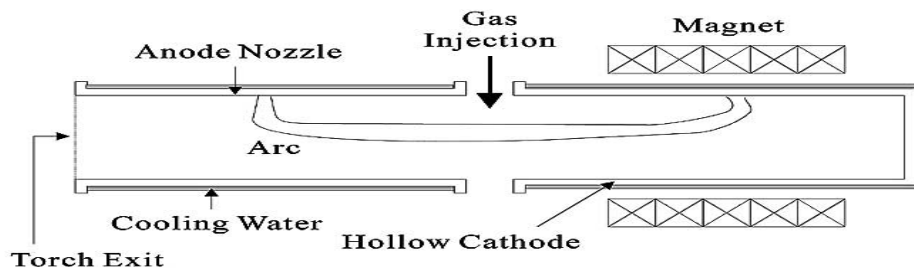


Figure 3 : schéma de principe d'une torche plasma thermique à cathode creuse [10]

Remerciement/Contexte

Ces travaux sont réalisés dans le cadre du projet IGAR et financés par l'ADEME.

Références

- [1] PhD Thesis, DEM-CFD Modelling of the ironmaking blast furnace, ISBN: 978-94-91909-06-1 Copyright ©2014 by A. T. Adema, March 2014.
- [2] A. Hasanbeigi, L. Prince, Z. Chunxia, S. Fangqin, L. Xiuping, comparison of iron and steel production energy use and energy intensity in china and the US. *Journal of cleaner Production* 65 (2014) 108-109.
- [3] X.F. Dong, A.B. Yu, S.J. Chew, and P. Zulli, Modelling of blast furnace with layered zone, DOI: 10.1007/s11663-009-9327-y, Copyright© The Materials, Metals & Materials Society and ASM International 2009.
- [4] J. A. de Castro, H. Nogami, J-I. Yagi, Transient mathematical model of blast furnace based on multi-fluid concept, with application to high PCI, *ISIJ International*. Vol. 40 (2000), no. 7, pp. 637-646.
- [5] Keun Su Kim *et al* 2008 *J. Phys. D: Appl. Phys.* 41 065201.
- [6] M. Hur and Sang Hee Hong 2002 *J. Phys. D: Appl. Phys.* 35 1946.
- [7] S. W. Chau, K. L. Hsu, D. L. Lin and C. C. Tzeng 2007. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 40 1944.
- [8] J.-F. Brilhac, B. Pateyron, J.-F. Coudert, P. Fauchais, and A. Bouvier, Study of the Dynamic and Static behavior of dc Vortex Plasma Torches II: Well-Type Cathode. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Vol. 15, No. 2, 1995.
- [9] Teste Ph, Leblanc T, Andlauer R and Chabrierie J-P 2001 *Plasma Sources Sci. Technol.* 10 10–16.
- [10] Jin Myung Park, Keun Su Kim, Tae Hyung Hwang, and Sang Hee Hong, "Three-Dimensional Modeling of Arc Root Rotation by External Magnetic Field in Nontransferred Thermal Plasma Torches," *IEEE Transactions on plasma science*, vol. 32, no. 2, April 2004.